不同饲养标准对杜寒杂交肉羊营养物质消化利用的影响

万　凡[1,2]　马　涛[2]　马　晨[1]　杨　东[2]　屠　焰[2]　刁其玉[2*]　杨开伦[1*]

（1.新疆农业大学，乌鲁木齐 830052；2.中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室，北京 100081）

摘　要:本试验通过比较不同饲养标准条件下，杜寒杂交肉羊营养物质表观消化率、能量和氮代谢的差异，确定适宜的饲养标准。采用单因素试验设计，选取体重为（28.3±0.86） kg的杜寒杂交 F1 代肉羊 600 只，随机分为 4 组，每组 3 个重复，每个重复 50 只。4 组分别饲喂按照以下饲养标准配制的饲粮：本试验室（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室）提出的杜寒杂交肉用绵羊饲养标准、美国 NRC（2007）、英国 AFRC（1993）以及我国农业行业标准的《肉羊饲养标准》（NY/T 816-2004），分别记为 CARS、NRC、AFRC 和 HB。试验期 81 d。当 CARS 组试验羊平均体重达到 37 kg 时，每组选取 4 只羊进行消化代谢试验，预试期 7 d，正试期 5 d。结果表明：CARS 组干物质、有机物表观消化率显著高于 AFRC 和 NRC 组（P<0.05），CARS 组酸性洗涤纤维表观消化率显著高于 NRC 组（P<0.05）；CARS 组消化能、代谢能、总能表观消化率、总能代谢率、吸收氮以及氮表观消化率显著高于 AFRC 和 NRC 组（P<0.05），与 HB 组差异不显著（P>0.05）；沉积氮和氮利用率在各组间差异均不显著（P>0.05）；NRC 组氮的生物学价值显著高于 CARS 和 HB 组（P<0.05）。结果提示，从杜寒杂交肉羊营养物质消化利用以及能量和氮代谢的情况来看，CARS 的饲养标准和国外标准相比具有明显优势。

关键词：饲养标准；肉羊；需要量；消化代谢

中图分类号：S826

我国是世界第一养羊大国，但长期以来缺乏系统性的饲养标准，国外饲养标准由于肉羊品种和饲粮原料等差异并不能完全适用于我国的肉羊养殖。系统开展我国特有品种杂交肉羊的营养需要量研究并建立饲养标准，对提高羊产业经济效益、合理化应用饲粮资源以

收稿日期：2016-05-12

基金项目：国家肉羊产业技术体系建设专项资金（CARS-39）；内蒙古自治区科技重大专项“巴美肉羊产业化技术研究集成应用”（201407011）

作者简介：万　凡（1990—），男，陕西潼关人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail: wanfanfw@126.com

*通信作者：刁其玉，研究员，博士生导师，E-mail: diaoqiyu@caas.cn；杨开伦，教授，博士生导师，E-mail: yangkailun2002@aliyun.com

及发展畜牧业均具有极其重要的意义[1]。NRC 于 1953 年首次推出绵羊饲养标准，随后一些畜牧业发达国家均根据实际情况制订了饲养标准，并不断更新予以完善[2]。目前国外具有代表性的羊的饲养标准包括 NRC（2007，美国）、AFRC（1993，英国）、INRA（1989，法国）和 CSIRO（2007，澳大利亚）[3]。我国关于肉羊营养需要量以及饲养标准制订的研究起步较晚，且研究方法和手段与国外有一定差距，虽然于 2004 年提出了农业行业标准的《肉羊饲养标准》（NY/T 816-2004），但对于蛋白质需要量的评价采用可消化蛋白质体系，而不是现行的代谢蛋白质（MP）体系，且提供的指标基本没有经过验证。2009 年随着我国肉羊产业技术体系的建立，肉羊营养需要量的研究在不断发展进行中，尤其是围绕我国南北方具有代表性的杜湖杂交和杜寒杂交肉用绵羊系统地开展了营养需要量研究[4-7]，得出国外饲养标准往往高估我国肉羊营养需要量的结论，同时也提示参考国外饲养标准配制饲粮可能会造成营养的浪费。本团队前期通过动物试验从能量和蛋白质角度研究了不同饲养标准对杜寒杂交肉羊生产性能和屠宰性能的影响[8]，本文仍参考依托国家肉羊产业技术体系平台研究得出的杜寒杂交肉羊营养需要量参数、NRC（2007）、AFRC（1993）以及《肉羊饲养标准》（NY/T 816-2004）所给出的营养需要量参数配制饲粮，通过消化代谢试验，比较研究不同饲养标准下肉羊营养物质表观消化率、能量和氮代谢的规律，为完善我国肉羊饲养标准提供基础数据，促进我国肉羊产业的发展。

1 材料与方法

1.1 时间和地点

试验于 2015 年 9 月至 12 月在内蒙古河套农牧技术研究院养殖基地进行，历时 81 d。

1.2 试验设计

本试验采用单因素试验设计，以杜寒杂交肉羊为试验动物，选取体况良好、体重（28.3±0.86） kg 相近的 4~6 月龄公羔 600 只，随机分为 4 组，每组 3 个重复，每个重复 50 只羊，共计 150 只/处理。4 组分别饲喂按照以下饲养标准配制的饲粮：本试验室（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点实验室）提出的杜寒杂交肉用绵羊饲养标准、美国 NRC（2007）、英国 AFRC（1993）以及我国农业行业标准的《肉羊饲养标准》（NY/T 816-2004），分别记为 CARS、NRC、AFRC 和 HB。根据各标准中 30~40 kg 体重且平均日增重为 300 g/d 的能量和蛋白质需要量配制试验饲粮，以全混合日粮（TMR）形

式饲喂。4 个饲养标准的试验饲粮组成及营养水平见表 1。试验全期自由采食、自由饮水，当 CARS 组试验羊平均体重达到 37 kg 时，每组选取 4 只接近平均体重的羊进行消化代谢试验，预试期 7 d，正试期 5 d，正试期间全收粪尿。

表 1　4 个饲养标准的试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the 4 experimental diets formulated according to the 4 feeding standards (air-dry basis)　　%

项目 Items	组别 Groups			
	CARS	NRC	AFRC	HB
原料 Ingredients				
玉米 Corn	30.0	30.0	30.0	30.0
麸皮 Wheat bran	2.0	2.0	2.0	2.0
豆粕 Soybean meal	5.0		5.0	7.5
油渣 Greaves	7.5	5.0	5.0	5.0
青贮 Silage	13.0	13.0	13.0	13.0
玉米胚芽 Corn germ	5.0	5.0	5.0	5.0
羊草 Chinese wild rye hay	34.5	42.0	37.0	34.5
食盐 NaCl	0.5	0.5	0.5	0.5
石粉 Limestone	0.9	0.9	0.9	0.9
碳酸氢钙 $CaHPO_4$	0.6	0.6	0.6	0.6
预混料 Premix[1)]	1.0	1.0	1.0	1.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient level[2)]				
代谢能 ME/(MJ/kg)	8.0	8.6	10.4	7.1
干物质 DM	90.9	91.8	91.2	90.9
代谢蛋白质 MP/(g/d)	88.8	92.0	94.4	88.8
粗脂肪 EE	2.17	2.11	2.24	2.32
粗灰分 Ash	6.86	7.17	7.17	7.07
中性洗涤纤维 NDF	53.2	60.7	58.8	54.0
酸性洗涤纤维 ADF	24.2	27.1	26.8	24.7
钙 Ca	0.80	0.84	0.68	0.72
磷 P	0.48	0.45	0.39	0.42

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 15 000 IU，VD 2 200IU，VE 50 IU，Fe 55 mg，Cu 12.5 mg，Mn 47 mg，Zn 24 mg，Se 0.5 mg，I 0.5 mg，Co 0.1 mg。

2)代谢能（CARS、HB：代谢能=总能×0.47[5-6]；NRC：代谢能=总能×0.5[9]；AFRC：代谢能=总能×0.69[10]）、代谢蛋白质（CARS、HB：代谢蛋白质=0.27×粗蛋白质采食量+49.88[11]；NRC：代谢蛋白质=0.7×粗蛋白质采食量[9]；AFRC：代谢蛋白质=0.7×粗蛋白质采食量[10]）为计算值，其他营养水平为实测值。ME (CARS

and HB： ME=GE×0.47[5-6]； NRC： ME=GE×0.5[9]； AFRC： ME=GE×0.69[10]) and MP （CARS and HB： MP=0.27×CP intake+49.88[11]；NRC：MP=0.7×CP intake[9]；AFRC：MP=0.7×CP intake[10]）were calculated values, while the other nutrient levels were measured values.

1.3 饲养管理

试验羊提前打好耳号，免疫注射三联四防疫苗，每只羊灌服伊维菌素溶液 2.5 mL 进行驱虫处理。试验羊单栏饲养，每只羊占地约 2.6 m^2。试验期内羊舍最高温度 10 ℃，最低温度-10 ℃，平均温度 0 ℃。试验羊每天 07:00 和 17:00 各饲喂 1 次，期间自由饮水。根据提前预饲的采食量确定各组饲喂量，各组饲喂量相同且均为自由采食量，试验期开始后，确保饲槽每天有 10%左右的剩料。

1.4 消化代谢试验样品采集与处理

饲喂前，记录投喂量并采集饲粮样本，分别在正试期第 1～5 天采集各组饲粮样本，混匀后作为整个试验期的饲粮样本，备测；将每天收集得到的剩料混匀后作为剩料样本，备测；采用全收粪尿法收集粪尿，每天称取并记录每只羊排粪量，按 10%取样，将每只羊 5 d 的粪样混合冷冻保存，用盛有 100 mL 10% H_2SO_4 的塑料桶收集尿液，以防止贮存过程中有尿酸沉淀，稀释至 5 L，对稀释尿液充分混合，用纱布过滤后每天取样 30 mL，将每只羊 5 d 的尿样混合后-20 ℃冷冻保存，以备测定尿能(UE)[12]。

1.5 测定指标及方法

1.5.1 养分表观消化率

消化代谢试验过程中采集具有代表性的饲粮，依照 AOAC（2000）[13]的方法测定其营养成分含量。其中总能（GE）以 PARR-6400 全自动氧弹量热仪测定；粗蛋白质（CP）含量以 KDY-9830 全自动凯氏定氮仪测定；粗脂肪（EE）含量采用 ANKOM XT15i 全自动脂肪分析仪测定。饲粮养分表观消化率计算方法参照 Adeola[14]的公式：

饲粮中某种养分的表观消化率（%）=100×（饲粮采食量×饲粮中该养分的含量–排粪量×粪中该养分含量）/（饲粮采食量×饲粮中该养分的含量）。

1.5.2 能量代谢指标

粪能(FE)以及 UE 测定参考 AOAC（2000）[13]中的方法，采用 Parr-6400 氧弹式热量测定仪。对于 UE 的测定，取 5 块定量滤纸分别测定能值，计算出滤纸的平均能值，将 10 mL

尿液分多次滴在滤纸上，65 ℃烘干后测定能值，得到滤纸和尿液的 GE，减去滤纸能值即得 UE。计算饲粮消化能（DE）、代谢能（ME）、GE 表观消化率、GE 代谢率和 DE 代谢率，公式如下：

DE（MJ/kg）=摄入 GE–FE；

UE（MJ/kg）=滴加尿液的滤纸能值–滤纸能值；

ME（MJ/kg）=摄入 GE–FE–UE–甲烷能；

GE 表观消化率（%）=DE/摄入 GE；

GE 代谢率（%）=ME/摄入 GE；

DE 代谢率（%）=ME/DE。

式中：甲烷能的具体数值依据本团队前期的研究结果，杜寒杂交肉羊育肥期甲烷能占 GE 的比例为 8%[7]。

1.5.3 氮代谢指标

测定摄入氮、粪氮、尿氮，计算总排出氮、吸收氮、沉积氮、氮表观消化率、氮利用率以及氮的生物学价值，公式如下：

总排出氮（g/d）=粪氮+尿氮；

吸收氮（g/d）=摄入氮–粪氮；

沉积氮（g/d）=摄入氮–（粪氮+尿氮）；

氮表观消化率（%）=100×吸收氮/摄入氮；

氮利用率（%）=100×沉积氮/摄入氮；

氮的生物学价值（%）=100×[食入氮–（粪氮+尿氮）]/（食入氮–粪氮）。

1.6 数据处理分析

试验数据采用 Excel 2010 进行整理，采用 SAS 9.1 统计软件的 ANOVA 过程进行单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著则用 Duncan 氏法多重比较检验。P<0.05 作为差异显著的判断标准。

2 结果与分析

2.1 不同饲养标准对杜寒杂交肉羊营养物质表观消化率的影响

由表 2 可知，CARS 组饲粮 DM、有机物（OM）的表观消化率显著高于 NRC 和 AFRC

组（*P*<0.05），和 HB 组差异不显著（*P*>0.05）。CARS 组饲粮酸性洗涤纤维（ADF）表观消化率显著高于 NRC 组（*P*<0.05），与其他 2 组差异不显著（*P*>0.05）。NRC 组的中性洗涤纤维（NDF）采食量显著高于 HB 组（*P*<0.05），NDF 排出量显著高于 CARS 和 HB 组（*P*<0.05），各组间 NDF 的表观消化率均无显著差异（*P*>0.05）。

表 2　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊营养物质采食量和表观消化率的影响

Table 2　Effects of different feeding standards on nutrient intakes and apparent nutrient digestibility of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value
	CARS	NRC	AFRC	HB		
干物质 DM						
摄入量 Intake/g	1 360.4	1 314.1	1 296.7	1 285.5	16.3	0.261
排出量 Excretion/g	447.0^{ab}	545.8^{a}	504.4^{ab}	426.0^{b}	15.5	0.039
表观消化率 Apparent digestibility/%	65.4^{a}	58.5^{b}	61.1^{b}	65.1^{a}	1.0	0.002
有机物 OM						
摄入量 Intake/g	1 298.8	1 222.2	1 212.7	1 194.3	17.0	0.203
排出量 Excretion/g	390.3^{ab}	476.4^{a}	443.5^{a}	361.9^{b}	14.7	0.029
表观消化率 Apparent digestibility/%	70.0^{a}	61.1^{b}	63.5^{b}	69.8^{a}	1.1	0.002
中性洗涤纤维 NDF						
摄入量 Intake/g	715.9^{ab}	765.4^{a}	720.5^{ab}	658.2^{b}	14.0	0.058
排出量 Excretion /g	260.3^{b}	331.3^{a}	299.6^{ab}	247.3^{b}	12.9	0.068
表观消化率 Apparent digestibility/%	63.5	56.9	58.4	62.5	1.3	0.224
酸性洗涤纤维 ADF						
摄入量 Intake/g	315.2	330.9	315.0	297.3	6.2	0.351
排出量 Excretion/g	138.4^{ab}	180.5^{a}	159.6^{ab}	135.9^{b}	6.3	0.097
表观消化率 Apparent digestibility/%	56.1^{a}	45.7^{b}	49.4^{ab}	54.4^{a}	1.4	0.143

同行无字母或数据肩标相同字母表示差异不显著（*P*>0.05），不同小写字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

In the same row, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference（*P*>0.05）, while with different small letter superscripts mean significant difference（*P*<0.05）. The same as below.

2.2 不同饲养标准对杜寒杂交肉羊能量代谢的影响

由表 3 可知，CARS 组饲粮的 DE、ME、GE 表观消化率、GE 代谢率均显著高于 NRC、AFRC 组（*P*<0.05），与 HB 组比较差异不显著（*P*>0.05）。FE NRC、AFRC 组显著高于 HB 组（*P*<0.05），与 CARS 组比较差异不显著（*P*>0.05）。摄入 GE、UE、DE 代谢率各组间均无显著性差异（*P*>0.05）。

表 3　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊能量代谢的影响

Table 3　Effects of different feeding standards on energy metabolism of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs

MJ/d

项目 Items	组别 Groups				SEM	*P* 值 *P*-value
	CARS	NRC	AFRC	HB		
摄入总能 GE intake	22.9	22.0	20.9	21.1	0.3	0.133
粪能 FE	8.1^{ab}	9.7^{a}	9.1^{a}	7.9^{b}	0.3	0.019
尿能 UE	0.8	0.7	0.8	0.8	0.0	0.128
消化能 DE	14.5^{a}	12.3^{b}	11.8^{b}	13.8^{a}	0.3	0.001
代谢能 ME	12.1^{a}	9.8^{b}	9.4^{b}	10.8^{a}	0.3	0.002
总能表观消化率 Apparent digestibility of GE/%	64.7^{a}	55.8^{b}	56.5^{b}	62.7^{a}	1.3	0.001
总能代谢率 Metabolizability of GE/%	53.4^{a}	45.1^{b}	45.6^{b}	52.0^{a}	1.2	0.003
消化能代谢率 Metabolizability of DE/%	84.3	80.8	80.6	79.7	0.3	0.083

2.3　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊氮代谢的影响

由表 4 可知，CARS 组摄入氮显著高于 NRC、HB 组（*P*<0.05），与 AFRC 组差异不显著（*P*>0.05）。CARS 组吸收氮和氮表观消化率显著高于 NRC 和 AFRC 组（*P*<0.05），与 HB 组差异不显著（*P*>0.05）。AFRC 组粪氮显著高于 HB 组（*P*<0.05），与 CARS、NRC 组差异不显著（*P*>0.05）。HB 组尿氮显著高于 NRC 和 AFRC 组（*P*<0.05），与 CARS 组差异不显著（*P*>0.05）。HB 组总排出氮显著高于 NRC 组（*P*<0.05），与其他 2 组差异不显著（*P*>0.05）。NRC 组氮的生物学价值显著高于 CARS 和 HB 组（*P*<0.05），与 AFRC 组差异不显著（*P*>0.05）。沉积氮和氮利用率在各组间差异均不显著（*P*>0.05）。

表 4　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊氮代谢的影响

Table 4　Effects of different feeding standards on nitrogen metabolism of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs　g/d

项目 Items	组别 Groups				SEM	P 值 P-value
	CARS	NRC	AFRC	HB		
摄入氮 N intake	24.1[a]	22.2[b]	23.1[ab]	22.2[b]	0.3	0.023
粪氮 Fecal N	9.8[ab]	9.9[ab]	10.5[a]	9.3[b]	0.2	0.062
尿氮 Urinary N	6.7[a]	4.0[b]	4.5[b]	7.2[a]	0.4	0.001
总排出氮 Total N excretion	16.5[a]	13.9[b]	15.0[ab]	16.6[a]	0.4	0.046
吸收氮 Absorbed N	14.3[a]	12.3[b]	12.5[b]	13.3[a]	0.3	0.002
沉积氮 Retained N	7.5	8.3	8.0	6.0	0.3	0.330
氮表观消化率 Apparent digestibility of N/%	59.2[a]	55.4[b]	54.5[b]	58.7[a]	0.9	0.011
氮利用率 Utilization efficiency of N/%	31.2	37.4	34.8	26.8	1.5	0.185
氮的生物学价值 Biological value of N/%	52.5[bc]	67.5[a]	63.9[ab]	45.4[c]	2.8	0.017

3 讨 论

国外现行的绵羊饲养标准主要来自英国（AFRC，1993）、澳大利亚（CSIRO，2007）、美国（NRC，2007）和法国（INRA，1989）[1]，上述标准均是根据本国肉羊养殖的实际情况制订而成。其次，各个饲养标准的研究对象不一，我国近年来通过大量引进国外纯种肉羊杂交我国本土品种羊，所产后代属于杂交肉羊，国外以纯种肉羊为研究对象较多，本试验选取的试验动物杜寒杂交肉羊为杜泊和小尾寒羊的杂交后代羊，属于早熟品种羊，根据各个饲养标准日增重 300 g 的能量和蛋白质需要量配制饲粮，从增重结果来看，CARS 组肉羊高于其他各组；从饲料转化率来看，CARS 标准亦明显优于其他标准[8]。最后，不同的饲养标准跟本国饲养模式有直接关系，如英国存在相当一部分的放牧加补饲的饲喂模式，我国今后的发展主要为逐步由传统放牧加补饲模型过渡到全舍饲养殖，因此不同的饲养标准的制订和本国的养殖情况密切相关。

3.1 不同饲养标准对杜寒杂交肉羊营养物质表观消化率的影响

Pereira 等[15]研究表明，DM 采食量是影响动物生产性能的关键因素，也是动物通过摄取营养物质（能量和蛋白质）满足自身营养需要的关键所在。一般认为羊在育肥阶段的 DM 采食量占其体重的 2%～4%[2]。本试验条件下，各组 DM 采食量/体重基本接近，分别为 3.74%（CARS 组）、3.63%（NRC 组）、3.59%（AFRC 组）和 3.58%（HB 组），但各组杜寒肉羊的 DM、OM 和 ADF 的表观消化率不同，主要是由于不同饲养标准能量和蛋白质水平的差异对营养物质的表观消化率产生影响。卢德勋[16]指出饲粮中各种营养物质在动物营养系统内部的转化是彼此相互转化和协调共存的，动物自身的调节机制保证了动物营养系统

处于有序的稳态。王娟[17]提出动物对饲粮能量和蛋白质的利用有一个最适范围，低于或高于此范围动物都会对营养物质的消化产生影响。本试验得出 CARS 组 DM 和 OM 的表观消化率高于国外饲养标准组，说明前期本团队以杜寒杂交肉羊为试验动物，通过传统经典的比较屠宰试验、营养物质消化代谢试验以及气体代谢试验所提出的具有针对性的营养参数[5-7]明显优于其他饲养标准。此外，CARS 组试验羊对 DM 的表观消化率达到 65.4%，和 Sormunen-Cristian[18]的研究结果（64.5%～66.0%）相似，但高于本团队之前 Xu 等[5]和 Deng 等[6]的研究报道（58.4%～60.8%），主要原因可能在于本团队前人试验中均采用全颗粒饲料进行饲喂，而本试验饲粮为全混合日粮，后者中的粗料和颗粒料在瘤胃滞留时间较长，更能促使瘤胃发酵，进而促进营养物质的消化吸收。反刍动物因其特殊的生理结构可以消化高纤维的饲粮，且纤维在瘤胃中发酵的产物是动物重要的能量来源。NDF 也被认为是区分结构性碳水化合物（SC）和非结构性碳水化合物（NSC）的最好指标[19]。NDF 的降解主要依靠动物瘤胃内纤维分解菌完成，当饲粮中的粗料含量高，动物摄入大量 NDF 时，瘤胃流通速度加快，进而导致瘤胃降解菌对其消化不完全[2]。ADF 包括硅酸盐、纤维素以及木质素[20]。本试验研究发现，杜寒杂交肉羊对各个标准饲粮 ADF 的表观消化率各组间出现了显著差异，以 CARS 组最高，主要是由于 CARS 组的豆粕、油渣等原料比例较 NRC 和 AFRC 组高，而羊草比例较低，因此可消化 ADF 的比例更高。

3.2　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊能量代谢的影响

饲粮中的营养物质在反刍动物体内经一系列消化和代谢作用产生能量，最终以 ATP 的形式释放来满足机体的营养需要[21]，未被消化吸收的能量则以粪和尿的形式排出体外。本试验中，CARS、NRC、AFRC 以及 HB 组 FE 占摄入 GE 的比例依次为 35.4%、44.27%、43.51%和 37.37%，在先前学者[2,21]的报道范围内。FE 的高低与饲粮原料组成以及比例有关[20]，本试验各组饲粮精粗比依次为 52.5∶47.5（CARS 组）、45.0∶55.0（NRC 组）、50.0∶50.0（AFRC 组）、52.5∶47.5（HB 组），因此造成 FE/摄入 GE 存在差异，同时也反映出杜寒杂交肉羊对不同饲养标准饲粮能量消化吸收存在差异。DE 反映出动物对营养物质的表观消化吸收情况，ME 则进一步消除了动物消化道气体和尿中代谢产物所产生的能量，更能表达饲料中所含的有效能，也更准确地反映出动物对能量的吸收利用情况，另外 GE 表观消化率和 GE 代谢率可以反映动物通过采食饲粮对摄入 GE 的消化情况[20]。本试验中 DE、

ME、GE 表观消化率以及 GE 代谢率，CARS 组试验羊均高于其他组，说明 CARS 标准对杜寒杂交肉羊的能量代谢显著优于其他饲养标准。

3.3　不同饲养标准对杜寒杂交肉羊氮代谢的影响

反刍动物对饲粮中蛋白质消化代谢的强弱主要受瘤胃微生物对其降解作用的影响，另外还与粪和尿中氮的排出量有关[2,21]。动物摄入的蛋白质进入瘤胃后，大部分被微生物降解为瘤胃降解蛋白（RDP），未被降解的称为过瘤胃蛋白（RBPP）。瘤胃内蛋白质降解菌可以将 RDP 分解成氨、氨基酸和小肽，再与碳水化合物在瘤胃内降解产生的能量共同合成微生物蛋白（MCP），而 MCP 与 RBPP 进入反刍动物小肠，与少量的内源蛋白质共同构成 MP。本条件下，根据不同饲养标准配制的饲粮 MP 差异较大，本团队以 Ma 等[11]研究得出的预测模型计算 MP：MP=0.27×CP 采食量+49.88（R^2=0.87）；NRC 和 AFRC 均以 MP=CP 采食量×0.7[9-10]计算 MP；HB 没有使用 MP 这一指标，因此参考 CARS 的公式进行计算。从本试验结果来看，CARS 组摄入氮、吸收氮和氮表观消化率均最高，说明 CARS 饲养标准配制的饲粮较其他标准更能促进杜寒杂交肉羊对氮的吸收。许贵善等[2]和 Deng 等[3]研究了 20～50 kg 杜寒杂交肉羊的氮代谢规律，结果表明除 20～35 kg 阶段自由采食组外，其他组尿氮排出量均高于粪氮，粪氮排出量比尿氮低（9.29%～45.94%），Devant 等[22]和王文奇等[21]均报道粪氮的排出量小于尿氮，而 Sena 等[23]研究发现，粪氮每日的排出量大于尿氮，本试验与后者研究结果一致，从各组羊只摄入氮差异到氮排出量差异，而氮的排泄又以尿氮和粪氮形式排出，最终影响肉羊吸收氮的差异。氮的生物学价值可以反映蛋白质可消化氨基酸组成与动物需要的关系[20]。本试验发现，NRC 组氮的生物学价值最高，说明本试验所采用的 NRC 饲养标准针对 4～6 月龄早熟品种育肥公羊日增重 300 g 的营养需要量所配制的饲粮与其他饲养标准的饲粮比较，对蛋白质可消化氨基酸组成和杜寒杂交肉羊的需要量最为接近，但从各个标准的整体饲喂结果来看，CARS 标准对杜寒杂交肉羊氮的消化利用率高于其他标准，促进了动物对氮的吸收。

4　结　论

不同饲养标准下杜寒杂交肉羊能量和氮代谢存在差异。从 DE、ME、GE 表观消化率、吸收氮以及氮表观消化率数据分析来看，CARS 标准的能量和蛋白质需要参数和 NRC、AFRC 和 HB 标准相比具有优势，提高了肉羊对能量和氮的利用率。

参考文献：

[1] 楼灿,邓凯东,姜成钢,等.饲养水平对肉用绵羊空怀期和哺乳期能量代谢平衡的影响[J].中国农业科学,2016,49(5):988–997.

[2] 许贵善,刁其玉,纪守坤,等.不同饲喂水平对肉用绵羊能量与蛋白质消化代谢的影响[J].中国畜牧杂志,2012,48(17):40–44.

[3] DENG K D,DIAO Q Y,JIANG C G,et al.Energy requirements for maintenance and growth of german mutton merino crossbred lambs[J].Journal of Integrative Agriculture,2013,12(4):670–677.

[4] NIE H T,YOU J H,WANG C L,et al.Energy requirement of hu sheep and dorper sheep hybrid F1 rams[J].Scientia Agricultura Sinica,2012,45(20):4269–4278.

[5] XU G S,MA T,JI S K,et al.Energy requirements for maintenance and growth of early-weaned Dorper crossbred male lambs[J].Livestock Science,2015,177:71–78.

[6] DENG K D,DIAO Q Y,JIANG C G,et a1.Energy requirements for maintenance and growth of Dorper crossbred ram lambs[J].Livestock Science,2012,150(1/2/3):102–110.

[7] DENG K D,JIANG C G,TU Y,et al.Energy requirements of *Dorper crossbred* ewe lambs [J].Journal of Animal Science,2014,92(5):2161–2169.

[8] 万凡,马涛,马晨,等.不同饲养标准对杜寒杂交肉用绵羊生产和屠宰性能的影响[J].动物营养学报,2016,28(11):

[9] NRC.Nutrient Requirements of small ruminants:sheep,goats,cervids,and new world camelids[S].Washington,D.C.:National Academy Press, 2007.

[10] ALDERMAN G.Energy and protein requirements of ruminants:an advisory manual prepared by the AFRC technical committee on responses to nutrients[M].Wallingford:CAB International,1993.

[11] MA T,DENG K D,TU Y,et al.Effect of feed intake on metabolizable protein supply in Dorper×thin-tailed *Han* crossbred lambs[J].Small Ruminant Research,2015,132:133–136.

[12] GALVANI D B,PIRES C C,KOZLOSKI G V,et al.Energy requirements of Texel crossbred lambs[J].Journal of Animal Science,2008,86(12):3480–3490.

[13] AOAC.Official methods of analysis of AOCO international[M].17th ed.Gaithersburg:AOCO International,Arlington,2000.

[14] ADEOLA O.Digestion and balance techniques in pigs[M]//LEWIS A J, SOUTHERN L L.Swine nutrition.2nd ed.Washington,D.C:CRC Press,2000:906.

[15] PEREIRA O G,DE SOUZA V G,FILHO S D C V,et al.Intake,digestibility and performance of beef cattle receiving diets containing urea in different proportions consumo e digestibilidade dos nutrientes e desempenho de bovinos de corte recebendo dietas com diferentes níveis de uréia[J].Ciencia Animal Brasileira,2008,9(3):552–562.

[16] 卢德勋.系统动物营养学导论[M].北京:中国农业出版社,2004.

[17] 王娟.饲粮能量和蛋白质水平对CRP配套系商品代生长猪生产性能、消化代谢和血清生化指标的影响[D].硕士学位论文.重庆:西南大学,2007.

[18] SORMUNEN-CRISTIAN R.Effect of barley and oats on feed intake,live weight gain and some carcass characteristics of fattening lambs[J].Small Ruminant Research,2013,109(1):22–27.

[19] 郑琛.不同处理饲粮及不同组合全饲粮颗粒料对绵羊瘤胃内环境和养分消化代谢的影响[D].硕士学位论文.兰州:甘肃农业大学,2004.

[20] 计成.动物营养学[M].北京:高等教育出版社,2008:93–97.

[21] 王文奇,侯广田,罗永明,等.不同精粗比全混合颗粒饲粮对母羊营养物质表观消化率、氮代谢和能量代谢的影响[J].动物营养学报,2014,26(11):3316–3324.

[22] DEVANT M,FERRET A,GASA J,et al.Effects of protein concentration and degradability on performance,ruminal fermentation,and nitrogen metabolism in rapidly growing heifers fed highconcentrate diets from 100 to 230 kg body weight[J].Journal of Animal Science,2000,78(6):1667–1676.

[23] SENA J A B,VILLELA S D J,SANTOS R A,et al.Intake,digestibility,performance,and carcass traits of rams provided with dehydrated passion fruit (*Passiflora edulis* f. flavicarpa) peel,as a substitute of Tifton 85 (*Cynodon* spp.)[J].Small Ruminant Research,2015,129:18–24.

Effects of Different Feeding Standards on Nutrient Digestion and Utilization of Dorper×thin-tailed *Han* Crossbred Meat Lambs

WAN Fan[1,2] MA Tao[2] MA Chen[1] YANG Dong[2] TU Yan[2] DIAO Qiyu[2*] YANG Kailun[1*]

(1. *Xinjiang Agricultural University*, *Urumqi* 830052, *China*; 2. *Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute*，*Chinese Academy of Agricultural Sciences*, *Beijing* 100081, *China*)

Abstract: In order to provide the basis for determination of appropriate feeding standard, this experiment compared the effects of different feeding standards on nutrient apparent digestibility, energy and nitrogen metabolism of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred meat lambs. Six hundreds Dorper×thin-tailed *Han* crossbred male lambs [(28.3±0.86) kg of body weight] were randomly assigned into 4 groups with 3 replicates in each group and 50 lambs per replicate in a single factor experimental design. The experimental diets were formulated according to the following four feeding standards: feeding standard established by our laboratory (key laboratory of feed biotechnology of the ministry of agriculture, feed research institute，Chinese academy of agricultural sciences) based on the study of nutrient requirements of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred sheep (abbreviated to 'CARS'), NRC (2007, USA), AFRC (1993, UK) and *Feeding Standard OF Meat-Producing Sheep and Goats* of Chinese agricultural industry standards (HB, NY/T 816-2004). The experiment lasted for 81 days. Four lambs in each group were selected for a digestion and metabolism trial after the lambs in CARS group reached 37 kg of average body weight, and the pretrial and trial lasted for 7 and 5 days, respectively. The results showed as follows: apparent digestibility of dry matter, organic matter and neutral detergent fiber in CARS group were significantly higher than those in AFRC and NRC groups (P<0.05), and apparent digestibility of acid detergent fiber in CARS group were significantly higher than that in NRC group (P<0.05); digestive energy, metabolizable energy, apparent digestibility of gross energy, metabolizability of gross energy, absorbed nitrogen and apparent digestibility of nitrogen in CARS group were significantly higher than those in AFRC group and NRC groups (P<0.05), but had no significant difference with those in HB group (P>0.05); retained nitrogen and utilization

*Corresponding authors: DIAO Qiyu, professor, E-mail: diaoqiyu@caas.cn; YANG Kailun, professor, E-mail: yangkailun2002@aliyun.com (责任编辑 王智航)

efficiency of nitrogen were not significantly different among all groups ($P>0.05$). Biological value of nitrogen in NRC group was significantly higher than that in CARS and HB groups ($P<0.05$). From the aspects of nutrient digestion and utilization and energy and nitrogen metabolism of Dorper×thin-tailed *Han* crossbred meat lambs, the feeding standard proposed by CARS has advantages over foreign feeding standards.

Key words: feeding standard; meat sheep; requirement; digestion and metabolism